



# 1978~2008年中国湿地类型变化

牛振国<sup>①\*</sup>, 张海英<sup>①</sup>, 王显威<sup>①</sup>, 姚文博<sup>②</sup>, 周德民<sup>③</sup>, 赵魁义<sup>④</sup>, 赵惠<sup>①</sup>, 李娜娜<sup>①</sup>, 黄华兵<sup>①</sup>,  
李丛丛<sup>⑤</sup>, 杨军<sup>⑥</sup>, 柳彩霞<sup>①</sup>, 刘爽<sup>①</sup>, 王琳<sup>①</sup>, 李展<sup>①</sup>, 杨镇钟<sup>⑤</sup>, 乔飞<sup>①</sup>, 郑姚闽<sup>①</sup>, 陈炎磊<sup>⑦</sup>,  
盛永伟<sup>⑧</sup>, 高小红<sup>⑨</sup>, 朱卫红<sup>⑩</sup>, 王文卿<sup>⑪</sup>, 王红<sup>⑫</sup>, 翁永玲<sup>⑬</sup>, 庄大方<sup>⑭</sup>, 刘纪远<sup>⑭</sup>, 罗志才<sup>⑮</sup>,  
程晓<sup>①</sup>, 郭子琪<sup>①</sup>, 宫鹏<sup>①②⑦\*</sup>

① 中国科学院遥感应用研究所, 遥感科学国家重点实验室, 北京 100101;

② 清华大学地球系统科学研究中心, 地球系统数值模拟教育部重点实验室, 北京 100084;

③ 首都师范大学资源环境与旅游学院, 北京 100037;

④ 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 长春 130012;

⑤ 北京师范大学地理与遥感学院, 北京 100875;

⑥ 北京林业大学林学院, 北京 100083;

⑦ Department of Environmental Science, Policy and Management, University of California, Berkeley, 94720, USA;

⑧ Department of Geography, University of California, Los Angeles, 90095, USA;

⑨ 青海师范大学生命与地理科学学院, 西宁 810008;

⑩ 延边大学地理系, 延边 133002;

⑪ 厦门大学环境与生态学院, 厦门 361005;

⑫ 河海大学地学院地理信息科学系, 南京 211100;

⑬ 东南大学交通学院测绘工程系, 南京 210096;

⑭ 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101;

⑮ 武汉大学测绘学院, 武汉 430079

\* 联系人, E-mail: zhgniu@irsa.ac.cn; penggong@tsinghua.edu.cn

2011-12-26 收稿, 2012-02-16 接受

国家高技术研究发展计划重点项目(2009AA12200307)资助

**摘要** 分别基于美国陆地卫星(Landsat MSS/TM/ETM<sup>+</sup>)和中巴资源卫星(CBERS-02B)影像数据, 以人工目视解译为主, 完成了中国 1978~2008 年 4 期(基准年分别为 1978, 1990, 2000 和 2008 年)湿地遥感制图, 并进行了大量的室内外验证. 在此基础上, 对我国湿地现状及近 30 年来湿地变化进行了初步分析, 得到以下主要结论: (i) 截止 2008 年, 中国湿地面积约为 324097 km<sup>2</sup>, 其中以内陆沼泽(35%)和湖泊湿地(26%)为主. (ii) 1978~2008 年, 中国湿地面积减少了约 33%, 而人工湿地增加了约 122%. 过去 30 年里湿地减少的速度大幅降低, 由最初 5523 km<sup>2</sup>/a(1978~1990 年)降为 831 km<sup>2</sup>/a(2000~2008 年). (iii) 减少的自然湿地(包括滨海湿地和内陆湿地), 其类型变化由湿地向非湿地转化的比例逐渐降低. 初期(1978~1990 年)几乎全部(98%)转换为非湿地; 在 1990~2000 年间减少的自然湿地约有 86%转化为非湿地, 而在 2000~2008 年, 这一比例下降为 77%. (iv) 气候变化和农业活动是中国湿地变化的主要驱动因素, 湿地变化在中国分为三大不同特征区域, 即西部三省/自治区(西藏、新疆和青海)、北部两省/自治区(黑龙江和内蒙古)和其他省市区. 其中西部区域尤其是青藏高原, 湿地变化的驱动因子以气候增温为主; 新疆湿地由于气候增温和农业活动共同作用造成变化不大. 北部省/自治区的湿地变化则主要由农业活动引起; 而其他省市区的湿地变化几乎完全受控于人类的农业经济活动.

## 关键词

中国湿地  
遥感  
气候变化  
湿地变化

英文版见: Niu Z G, Zhang H Y, Wang X W, et al. Mapping Wetland Changes in China between 1978 and 2008. Chin Sci Bull, 2012, 57, doi: 10.1007/s11434-012-5093-3

湿地作为地球表层最富有生物多样性的生态系统之一,保护湿地及其生物多样性已经成为当前国际社会备受关注的热点(<http://www.wetlands.org>, 2010)。湿地在为众多野生动植物提供栖息地的同时,也为人类提供多种生态服务,如涵养水源、调蓄洪水、调节气候、降解污染、固碳释氧、控制侵蚀、营养循环等<sup>[1]</sup>。湿地除了可以直接提供人类的动植物资源和水资源外,还可提供泥炭等特殊资源等。

然而随着经济发展,全球湿地依然处于丧失和退化的现状,虽然中国政府自 1992 年加入湿地公约以来一直在努力,但中国湿地依然在丧失和退化。截止 2009 年为止,在中国境内共设立了 550 余处湿地保护区<sup>[2]</sup>。1995~2001 年国家林业局主持了全国第一次湿地调查;从 2009 年开始进行第二次全国湿地资源调查,至今尚未完成。

为满足禽流感研究的需要,牛振国等人<sup>[3]</sup>和宫鹏等人<sup>[4]</sup>以全国陆地卫星(Landsat)遥感数据为数据源,先后完成了全国 1990 和 2000 年为基准年的湿地遥感制图。在此基础上,为了解中国自改革开放以来的湿地分布及变化特征,又陆续完成了 1978 和 2008 年为基准年的全国湿地遥感制图。这些工作都是基于人工解译完成的,并于 2008 年以来每年进行野外调查和验证工作,2009 年夏天同时在全国 10 个解译难点地区开展了野外调查。初步掌握了我国湿地分布的现状和变化趋势,为变化原因分析提供了基础。本文对 4 期全国湿地遥感制图结果进行初步分析。

# 1 数据和方法

## 1.1 湿地分类系统

参考国际湿地公约和国家林业局湿地调查规定,并根据湿地解译的可行性,我们在 4 期制图中采取了统一的湿地分类系统<sup>[3,4]</sup>。在湿地变化的分析中,由于河流湿地和洪泛湿地变化具有一定的互补性,将这 2 类合并为河流湿地进行分析;同时将人工湿地和

滨海湿地分别合并为一级类别进行分析,不再区分内部二级类别的变化。

## 1.2 数据源及处理方法

各个时期采用的遥感数据源以及图像处理情况如表 1 所示,以 2000 年影像为基准影像进行几何校正,图像投影统一采用等面积割圆锥(Albers)双标准纬线投影。图像的解译分为 2 类:即 Landsat 影像数据全部采用人工目视解译,而 CBERS-02B 图像的解译,其中水体部分使用 Feature Analyst 软件进行自动提取,然后进行部分人工修正;其余非水体部分的湿地仍然采用人工目视解译的方法,图像处理与人工解译方法和流程与之前类似<sup>[3]</sup>。

对 2008 年的解译结果于 2009 年进行了野外调查验证,共获得野外有效湿地样点 459 个,分布在东北、青藏高原、东部及南部沿海等,涵盖了内陆河湖湿地、内陆沼泽(包括高寒湿地)及滨海湿地等主要类型。基于这些样点对 2008 年解译数据进行验证,湿地类型总体精度为 0.70, Kappa 系数为 0.63。所有验证样点被分为非湿地的仅为 7 处,主要分布在河流两侧。而样点误差主要来源于洪泛湿地与其他类型湿地(河流、沼泽和湖泊等)的混淆。这是由于湿地的季节性特征引起的,由于实际调查时间与解译图像时间不一致;另外也与洪泛湿地的解译较为困难,在图像上较难判别有关。根据野外调查验证的样点,对 2008 年数据进行修订,在此基础上,采用变化检测的方法,又分别对其他 3 期的数据进行了修订。

由于各个时期采用图像的分辨率不同,分辨率高的会得到较多的湿地解译面积。因此湿地在不同年份有分辨率不同造成的面积不一致性。为了规避这种不一致性,采用窗口滤波的方式对各期制图数据进行综合,统一转换为 240 m 大小的栅格数据,在此基础上进行统计分析。制图综合的具体方法为:根据各期原始遥感影像的分辨率,分别将各期制图数据转为不同大小的栅格数据(图 1);然后分别采用不

表 1 全国湿地制图遥感图像<sup>a)</sup>

时间(基准年)	数据源	数据景数	几何校正误差	解译方法
1978 年	Landsat MSS	546	小于 1 个像元	人工目视解译
1990 年	Landsat TM	542	小于 1 个像元	人工目视解译
2000 年	Landsat ETM <sup>+</sup>	597	/	人工目视解译
2008 年	CBERS(01/02B)	1442	小于 2 个像元	人工和自动结合

a) CBERS 影像的几何校正存在部分区域误差大于 2 个像元;“/”表示不存在几何校正误差

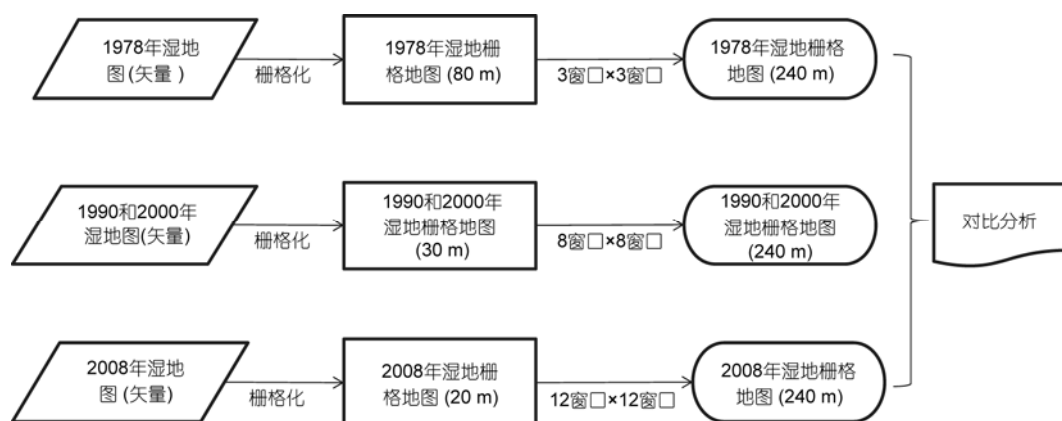


图1 各期湿地地图综合方法示意图

同大小窗口对各期栅格地图数据进行窗口滤波, 滤波时, 只有当每个窗口内所有栅格全部为某一种类型(亚类)的湿地时, 该栅格数据才转换为对应 240 m 栅格的湿地类型数据, 否则为非湿地. 完成一个窗口的对比计算后, 以窗口大小为步长进行移动, 末行和末列被舍掉. 后文的湿地变化分析及相应数据就是在此制图综合基础上得到的.

但这样处理的后果之一就是导致了很小面积的湿地斑块被滤掉, 使得湿地总面积小于原始解译的面积. 因此在后面的分析中, 2008 年湿地分布现状(2.1 部分)为基于原始解译结果进行的统计, 而其余部分的变化分析数据都是在转换后的基础上进行统计得出的.

## 2 中国湿地分布现状与变化

### 2.1 湿地分布现状

根据遥感图像解译结果, 到 2008 年我国现有除去水稻田之外的湿地总面积为  $3.24 \times 10^5 \text{ km}^2$ , 其中天然湿地面积为  $2.85 \times 10^5 \text{ km}^2$ , 占 88%(包括滨海湿地 3%, 内陆湿地 85%); 人工湿地面积为  $3.87 \times 10^4 \text{ km}^2$ , 占 12%(图 2).

滨海湿地分布于东部及南部沿海自辽宁到广西的 14 个省市自治区内, 但是主要分布在山东(30%), 辽宁(18%)、江苏(16%)和福建(15%). 以杭州湾为界, 以北的海岸以淤泥质为主, 滨海湿地面积约为  $5863 \text{ km}^2$ , 约占全部滨海湿地面积的 60%.

从地理分布看, 湿地目前主要分布在中国人口稀少的中西部 and 东北地区. 湿地分布较多的 4 个省

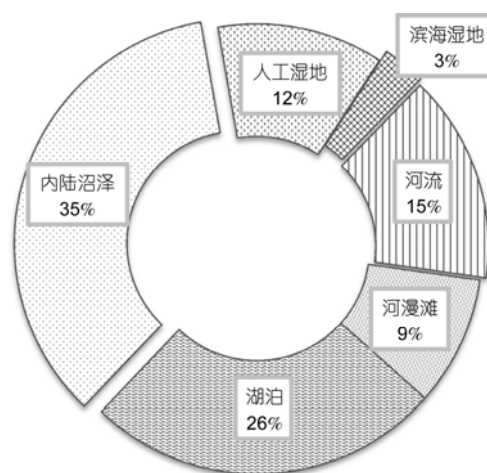


图2 中国湿地的构成

(自治区)为黑龙江、内蒙古、青海和西藏, 其湿地总面积为  $1.78 \times 10^5 \text{ km}^2$ , 占全国湿地面积的 55%; 其次为新疆、江苏和吉林, 占全国湿地面积的 16%. 而具有“千湖之省”的湖北省, 湿地面积仅为  $8031 \text{ km}^2$ , 不到全国湿地面积的 3%.

### 2.2 全国湿地变化特征

(i) 总体变化特征. 根据遥感制图结果, 从 1978 年到 2008 年中国湿地面积持续减少(表 2, 图 3, 4). 在过去的 30 年中, 中国湿地面积总体上减少了约  $1.02 \times 10^5 \text{ km}^2$ . 但由于其中人工湿地增加了约  $11952 \text{ km}^2$ , 因此实际减少的自然湿地面积达  $1.13 \times 10^5 \text{ km}^2$ . 其中内陆沼泽减少  $55959 \text{ km}^2$ , 占全部减少湿地面积的 49.37%; 减少的河流和洪泛湿地占 29.70%, 达  $33670 \text{ km}^2$ ; 湖泊减少  $18507 \text{ km}^2$ , 占 16.33%; 滨海湿

表 2 中国 1978~2008 年湿地变化统计<sup>a)</sup>

类型	亚类	1978 年湿地面积 (km <sup>2</sup> )	湿地变化(km <sup>2</sup> )		
			1978~1990 年	1990~2000 年	2000~2008 年
滨海湿地	潮间带/浅滩	3399	1014	-1202	-1368
	滨海沼泽	4363	-2297	-810	254
	河口水域	4987	-517	-328	21
	河口三角洲	140	178	37	-66
	潟湖	215	-19	-51	-60
	小计	13104	-1641	-2354	-1219
内陆湿地	河流湿地 <sup>b)</sup>	65293	-27936	-1955	-3779
	湖泊	82903	-12463	-2609	-3436
	内陆沼泽	138203	-26894	-28995	-70
	小计	286399	-67293	-33559	-7285
人工湿地	水库/池塘	5157	212	5338	1780
	人工河渠	616	-521	140	125
	海水养殖/盐场等	3984	2976	1966	-42
	其他人工湿地 <sup>c)</sup>	35	-6	-5	-12
	小计	9792	2661	7439	1851
总面积		309296	-66273	-28475	-6652

a) 该表是基于转化为 240 m 栅格数据进行统计的结果, 正值表示湿地增加, 负值表示湿地减少; b) 河流和洪泛湿地合并为河流湿地; c) 娱乐和景观水面和其他类型合并为其他湿地类型进行统计

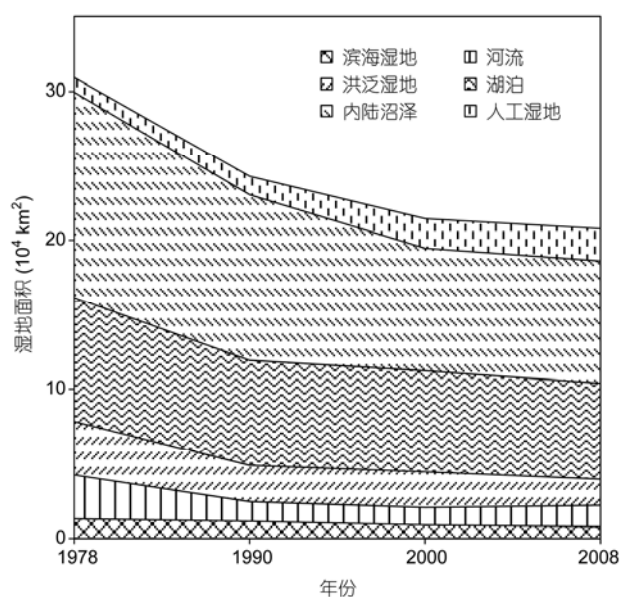


图 3 1978~2008 年中国湿地总体变化

地面积减少 5215 km<sup>2</sup>。

从湿地减少的速度看, 1990 年以前减少的湿地占 30 年减少量的 65%; 2000 年之后, 减少湿地只占全部减少湿地的 6.56%。因此, 湿地减少的趋势在明

显放缓, 这 3 个时期内减少的速度分别为 5523 km<sup>2</sup>/a (1978~1990 年), 2847 km<sup>2</sup>/a (1990~2000 年) 和 831 km<sup>2</sup>/a (2000~2008 年)。

人工湿地在过去 30 年间, 却从 1978 年的 9792 km<sup>2</sup> 增加到 2008 年的 21745 km<sup>2</sup>, 增加了约 122%。

(ii) 类型变化特征. 利用 GIS 工具对各期湿地的空间变化进行分析, 把内陆湿地和滨海湿地合并为自然湿地, 人工湿地单独进行统计(图 4), 发现自然湿地呈现了持续减少和人工湿地持续增加的趋势, 1990 年之前, 减少的自然湿地近乎全部(98%)转换为非湿地; 1990~2000 年间, 这一数字降为 86%; 而后再到 2000~2008 年降为 77%。而同期人工湿地的增加却相应加速, 说明中国自然湿地的减少前期主要被开发为农田等常规土地利用方式, 后期自然湿地则逐渐被开发为人工湿地。

(iii) 湿地变化的区域特征. 近 30 年来湿地变化在全国各地表现的特征各不同。变化较大的集中在湿地面积较多的省(自治区), 如黑龙江、内蒙古、西藏等; 另外, 湿地的变化在全国各地也表现为增加和减少不同的趋势。根据全国各省市 30 年来湿地的变化, 进行聚类分析, 可以看出湿地变化在全国可以

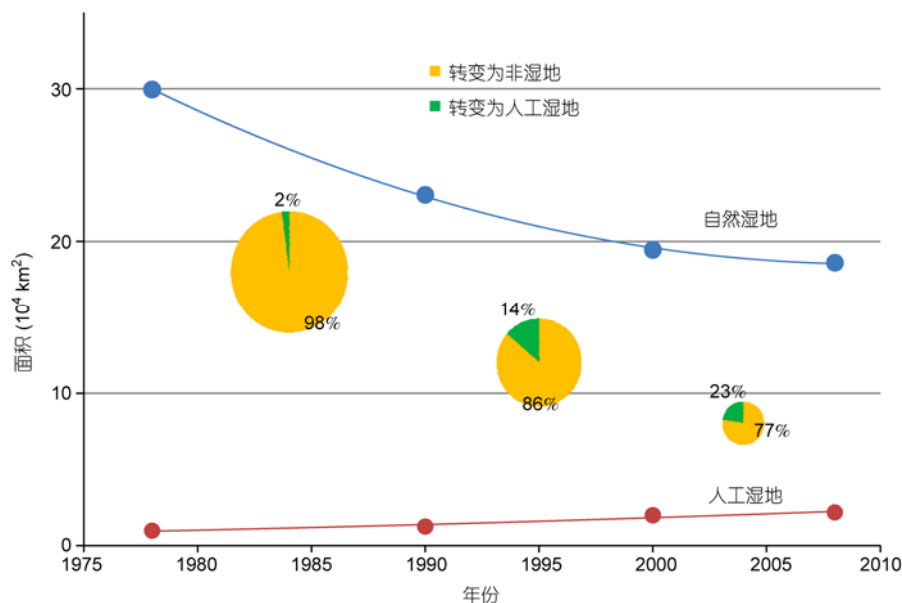


图 4 中国湿地类型变化

分为 3 类特征区域(表 3, 图 5), 即西部三省(自治区)(青海、西藏和新疆)、北部两省(自治区)(黑龙江和内蒙古)和其他省市(自治区). 这种分异特征首先是由我国湿地分布的格局决定的, 我国湿地主要分布在东北和西部地区; 其次是东北区域的湿地呈现大

面积持续减少的趋势; 而西部区域则出现了增加, 因而湿地变化表现为西部省区和北部省区之间的差异. 而在其他省区, 湿地虽然也在减少, 但是由于湿地分布面积相对较小, 因而湿地变化被划归为一类.

由于各区域内部湿地变化驱动力的差异, 在各

表 3 1978~2008 年全国各省市湿地变化统计<sup>a)</sup>

湿地面积变化(km <sup>2</sup> )				湿地面积变化(km <sup>2</sup> )					
省市区		1978~1990 年	1990~2000 年	2000~2008 年	省市区		1978~1990 年	1990~2000 年	2000~2008 年
①	黑龙江	-9808	-13766	-1325	湖南	-2094	401	-1416	
	内蒙古	-11347	-7771	-2479	四川	-2203	-65	-755	
②	新疆	-8609	564	-160	湖北	-883	-189	-1832	
	青海	-9601	337	-1855	江西	-206	-1260	-813	
③	西藏	-6380	1674	4387	吉林	-3701	-5166	866	
	河北	-242	-755	129	辽宁	-1978	-393	-220	
	甘肃	-1436	-585	-97	重庆	-351	-49	98	
	北京	23	-30	-70	上海	-169	-278	-36	
	山西	-329	-50	-38	③ 云南	-565	76	-146	
	天津	104	104	-275	贵州	-202	25	4	
	浙江	-943	5	63	福建	-775	170	-420	
	陕西	-588	-306	-28	台湾	-483	2	-102	
	江苏	-619	28	-334	广西	-1112	140	-230	
	山东	1239	-740	682	广东	-895	-60	-67	
	安徽	-980	-93	-514	香港	-32	2	0	
	河南	-425	-236	101	澳门	8	-1	2	
	宁夏	-340	-273	50	海南	-350	61	-122	

a) ① 北部省(自治区); ② 西部省(自治区); ③ 其他省市区

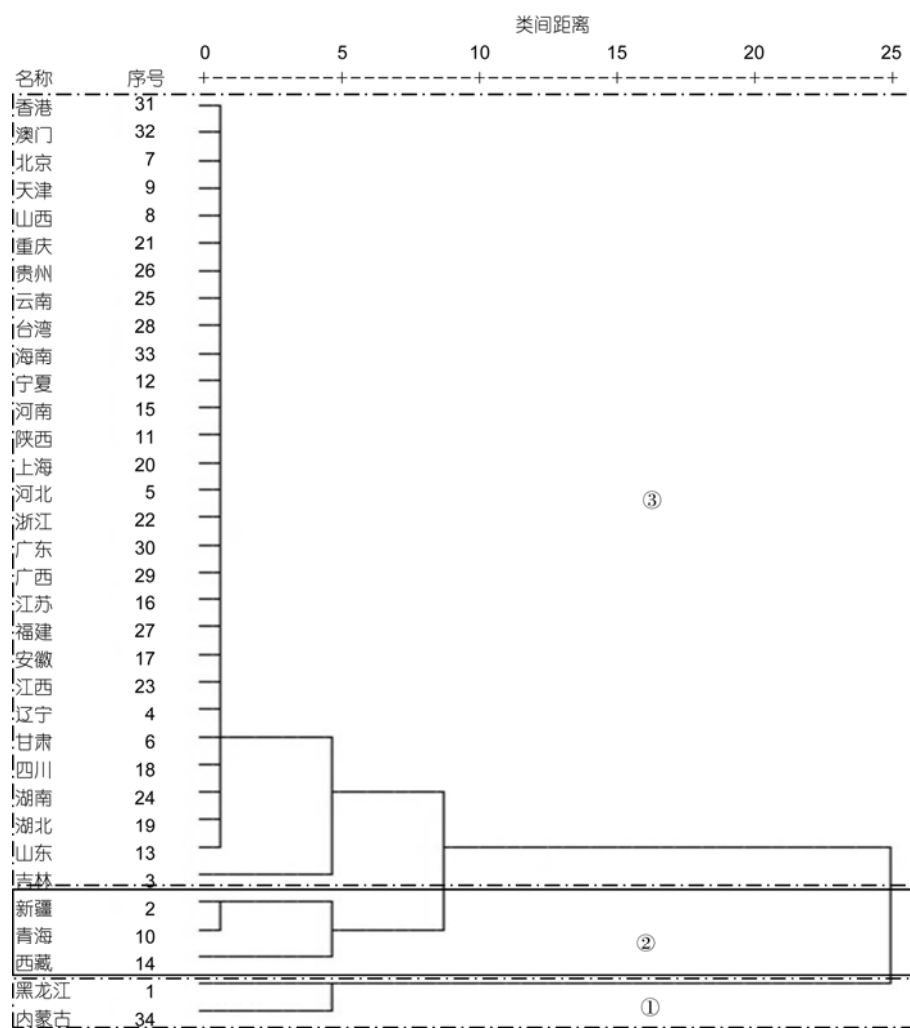


图 5 全国湿地变化的聚类分析图

个区域内又出现变化特征的差异。如在西部三省区，1990 年之前，湿地面积大幅度锐减；1990~2000 年湿地有所增加，但 2000 年之后，西藏湿地持续增加，而青海和新疆湿地减少。这与区域内影响湿地变化的因素的差异密切相关(详细分析如后)。

我国北部两省区(内蒙古和黑龙江)的湿地虽然都大面积持续减少，但是对黑龙江而言，湿地减少的高峰期发生在 1990~2000 年这一时期，而内蒙古则发生在 1990 年之前。

其余省市区的湿地，或由于长期农业开发，或由于自然环境特征不利于湿地的生成，现存湿地面积相对较少，因此相对西北和东北区域而言，湿地面积的变化不大。1990 年之前，除山东、北京、天津、澳门外，其余省市湿地面积均减少。吉林省湿地面积

减少的高峰期同黑龙江一样，也出现在 1990~2000 年，但是进入 2000 年之后，湿地面积却扩大，这与其他省市表现有显著区别。另外，位于长江中下游的四川(包括重庆)、湖北、湖南和江西等四省，属于历史上湿地集中的区域，在过去的 30 年中，湿地也同样持续减少。

(iv) 中国区域 2003 年以来的地表质量变化与 2000 年以来湿地变化的比较。通过重力测量卫星 GRACE(gravity recovery and climate experiment)数据对地表质量变化进行分析。基于去相关滤波(P3M6)和 Fan 滤波的组合滤波方法<sup>[5]</sup>，由 2003 年 1 月至 2010 年 12 月 GRACE 时变重力场模型 CSR RL04 反演出中国大陆地表质量变化。由于地表质量变化主要由地下和地表水变化引起，因此以等效水高(equivalent

water height)表示地表质量变化. 我国 2003~2010 年间, 有水分增高趋势的区域主要在藏北高原, 三峡库区一带, 江西大部-安徽南部-福建西北-浙江西部一带和青海柴达木盆地地区(图 6). 而水分呈下降趋势的主要在藏东南地区, 其次在山西和河北大部 and 内蒙古南部的华北地区, 北疆地区也有少量降低的趋势. 其他地区水分变化趋势不明显. 这些变化与表 3 中的湿地变化有一定的对应关系. 西藏地区、柴达木盆地湿地同期增加, 而重庆的湿地也增加. 三峡蓄水在 GRACE 数据上得到强烈反映. 江西和安徽南部的水分增加的趋势并没有和湿地变化有很好的对应关系, 原因有待进一步研究. 由于华北地区湿地总量已经太少, 虽然该区域地表质量降低明显, 主要没有反映在湿地减少上. 这可能与该区域煤矿和地下水的大量开采有关. 藏东南地区的水分急剧降低的趋势明显不利于湿地发育, 可能与大量冰川融水通过雅鲁藏布江河谷外流有关, 这在后面分析的该区湖泊

水位变化上也有所反映. 新疆地区水分降低将在后续原因分析中提及.

### 3 湿地变化的驱动力分析

水是湿地的核心, 除了人为的开发利用外, 水分的平衡关系决定了湿地的消长. 因此影响湿地变化的驱动因子可以从人为因素(直接开发占用湿地和争夺水源而间接影响湿地)和自然因素(增加水源补给和减少补给, 加速湿地水分的丧失)两种角度考虑.

#### 3.1 湿地与气候变化的分析

气候要素是湿地变化的背景, 主要通过气温和降水 2 个因子来影响湿地的消长. 首先降水增加无疑会对湿地扩展有利, 降水对于湿地的动态变化是正相关关系; 相对而言, 气温对湿地的影响较为复杂. 气温升高会导致蒸发增大, 使得湿地水分丧失加速, 湿地区域萎缩; 但是在有冰川和多年积雪的流域, 气

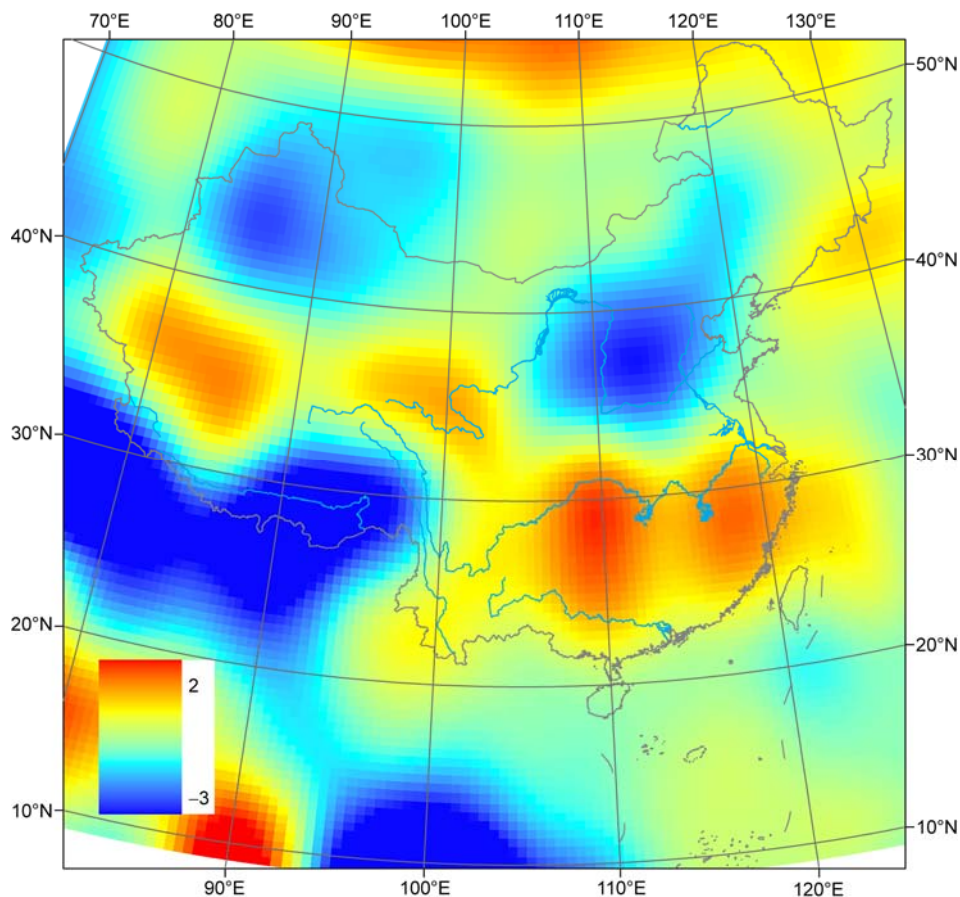


图 6 2003 年 1 月至 2010 年 12 月中国大陆地表质量变化率(cm/a)



温升高会导致融水增加, 湿地来水增加, 湖泊水面和沼泽湿地扩大. 因此气温的变化对于不同区域的湿地而言, 具有不同的影响结果.

无论是年均温还是平均最高温度和平均最低温度, 自 1978 年至今, 中国区域都呈现了增温的趋势, 尤其在北方地区, 包括华北、东北和西北的北部地区<sup>[6]</sup>. 在青藏高原也呈现了增温的趋势<sup>[7]</sup>, 但温度的转折点多发生在 20 世纪 80 年代中期, 晚于长江以北的中国其他区域<sup>[6-8]</sup>. 而青藏高原的降水量在过去 50 年中则没有显著的变化<sup>[9]</sup>.

受气温升高影响, 我国多年冻土无论在东北地区<sup>[10]</sup>, 还是天山<sup>[11]</sup>以及青藏高原地区<sup>[12]</sup>, 均出现了冻土南界北退、冻土埋深增加和高山冻土高程增高等不同的退化现象. 冻土融化层加深会导致土壤水分逐渐散失、蒸发增强和径流减少<sup>[13]</sup>, 从而会导致冻土区湿地的退缩.

我国的高山冰川绝大多数位于西部区域, 因而气温升高的同时, 造成了冰川的退缩<sup>[14-18]</sup>, 加大了对该区域湿地水源的供给. 其直接后果就是在西部内流区域, 出现了湖泊水面升高和扩张<sup>[19,20]</sup>以及内陆沼泽的扩大.

我国西部地区尤其是青藏高原地区, 由于之前受人类社会经济行为的影响较少, 因而湿地的变化表现为气候变暖背景下, 各种自然环境因素综合作用的结果. 从该地区过去 30 多年的湿地变化可以看出(图 7), 西部三省(自治区)湿地变化也呈现了明显差异. 除 1990 年之前该区域各种类型湿地均大幅度减少外, 之后西藏地区湖泊和内陆沼泽湿地呈现了快速增长的趋势; 在基于 ICESat/GLAS 数据建立的湖泊水面足迹(LWF, lake water footprints)算法的基础上<sup>[21]</sup>, 利用 2003~2009 年的该数据对全国主要大湖湖面高程的监测也表明, 青藏高原地区的大部分

湖泊在近些年一直处于快速扩张过程中(图 8). 但是在藏东南的几个大湖却出现湖泊水位持续下降的趋势, 与图 6 中的 GRACE 数据获得的水分变化呈同一趋势. 河流和洪泛湿地持续减少的趋势与自然环境变化特征较为吻合. 即由于气温升高, 冰川积雪的融化, 使得封闭和半封闭型的湖泊和沼泽的供水增加; 而河流和洪泛湿地由于水分只是流经, 加之升温导致的蒸发增大, 所以出现了持续萎缩的趋势.

新疆地区虽然在 1990 年之后湖泊和沼泽湿地有所增长, 但是在 2000 年之后内陆沼泽减少; 而人工湿地的面积迅速增加. 虽然气温升高造成的冰川积雪的融水使得湿地部分扩张, 但是由于耕地增加<sup>[22]</sup>, 对水资源的需求增大<sup>[23]</sup>和对湿地的直接开发, 从而使新疆的湿地面积并未出现像西藏的湿地一样扩大的现象. 这一解释的更定量的表现是 2003~2010 年间北疆地区的水分下降趋势(图 6).

根据青海省 1961 年以来的气象资料分析表明: 该区气候增温的速率远高于同期全球和全国的增温速度, 而降水变化较小<sup>[24]</sup>, 是中国气候变暖的敏感区, 年蒸发量逐年增大<sup>[25]</sup>. 在青海省的外流区域(三江源地区), 气温升高造成的冰雪融水并未给当地的湿地补充更多的水源, 而且气温升高也加剧了蒸发, 使得水分丧失逐渐加强. 而在青海湖流域, 耕地的开发也来自于湿地<sup>[26]</sup>. 因而青海省的湿地在气候增温的背景下, 随蒸发增大, 冰雪融水增加和水分外流, 同时伴随部分的人为开发, 造成了湿地, 尤其是内陆沼泽湿地的持续减少, 仅仅在部分内流区域则出现湖泊扩大的现象, 这在图 7 中有所反映.

### 3.2 农业经济活动对湿地的影响

人类对湿地的直接影响是通过农业活动. 无论是通过排水来直接开发占用湿地, 还是通过增加灌

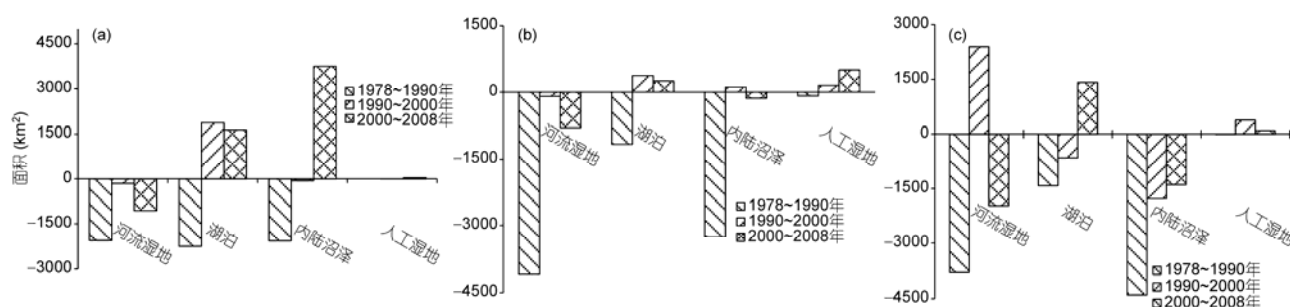


图 7 西藏(a)、新疆(b)和青海(c)近 30 年来湿地变化



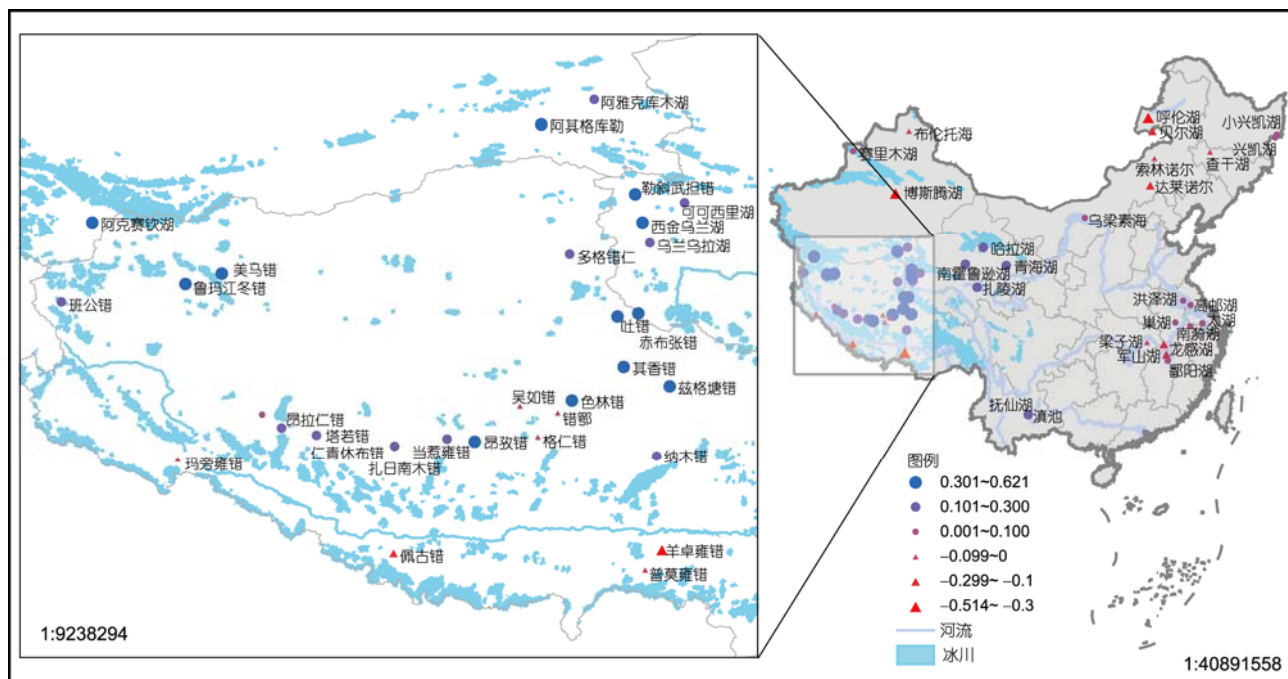


图 8 全国大湖 2003~2009 年湖水面高程变化速率(cm/a)

溉, 争夺了对湿地供水从而导致湿地退化; 这些影响都发生在易于开发的人口密集区域。

从统计年鉴看, 我国的耕地自 20 世纪 80 年代以来持续降低<sup>[27]</sup>。但是这种趋势在全国各地并不均一。东北和西北的耕地在全国耕地中的比重是一直增加的, 而东南部发达地区的耕地的比重是减少的<sup>[28]</sup>。这种现象同建国以来各省区农作物种植总面积的趋势基本一致: 即在经济发达地区, 耕地数量和作物播种面积持续下降; 而在欠发达和以农业为主的省区, 耕地数量和作物播种面积在持续增长(图 9(a))。另外, 自建国以来, 在我国耕地的构成中, 水田和水浇地的面积和比重是持续增加, 尤其是 20 世纪 70 年代以来, 水浇地比重迅速增加; 90 年代以来, 水田比重也迅速增加<sup>[27,28]</sup>。从统计年鉴资料看, 在西北和东北等水资源缺乏的省区, 有效灌溉面积持续增加(图 9(b))。从全国的背景来看, 水田和水浇地的增长, 必然引起对水资源需求的增加; 在水平衡的前提下, 供给湿地的水源也就会减少, 湿地必然因缺水而退化和萎缩, 在水资源短缺的北方和西北地区尤为严重。

从 20 世纪 80 年代末期到 2000 年全国各省耕地面积变化看, 黑龙江、内蒙古两省区增加的耕地居前 2 位, 而其中水田面积的增加也分别排在第一和第四位, 从旱田变水田的比例看, 东北三省的这一转换比

例占全国的 91.9%<sup>[28]</sup>。黑龙江省 1980 年以来, 水稻田面积持续增加(图 10)。从该时期湿地的变化看(图 11), 也是湿地面积减少最多的时期, 其中又以沼泽湿地减少最为突出。因此, 毫无疑问, 大量的湿地被开垦为农田或农田灌溉, 转化为水田争夺了对湿地水的供给而导致湿地的退化和萎缩是湿地面积减少的主要原因。另外水利设施的增加, 也直接减少了对湿地水的供给, 如黑龙江省的水坝从 1990 年的 93 座增加到 2000 年的 414 座, 同期水库从 491 座增加到 609 座<sup>[29,30]</sup>。这些水利设施的建设必然造成河流湿地以及以河流为水源的沼泽湿地的退缩。

与自然湿地因农业活动而迅速减少不同, 人工湿地面积则一直增加, 尤其在东部农业发达的省区, 像养殖场、盐池和人工河渠等大幅增加。根据中国农业年鉴资料, 2000 年全国淡水养殖面积比 1990 年增加了 8 倍多, 其中又以山东、黑龙江、河北、福建、安徽和江苏等省为最多。

#### 4 结果与讨论

基于 4 期遥感制图结果分析, 本文得出如下初步结论:

(i) 到 2008 年, 中国湿地总面积约为 324097 km<sup>2</sup>, 其中以内陆沼泽(35%)和湖泊湿地(26%)为主。

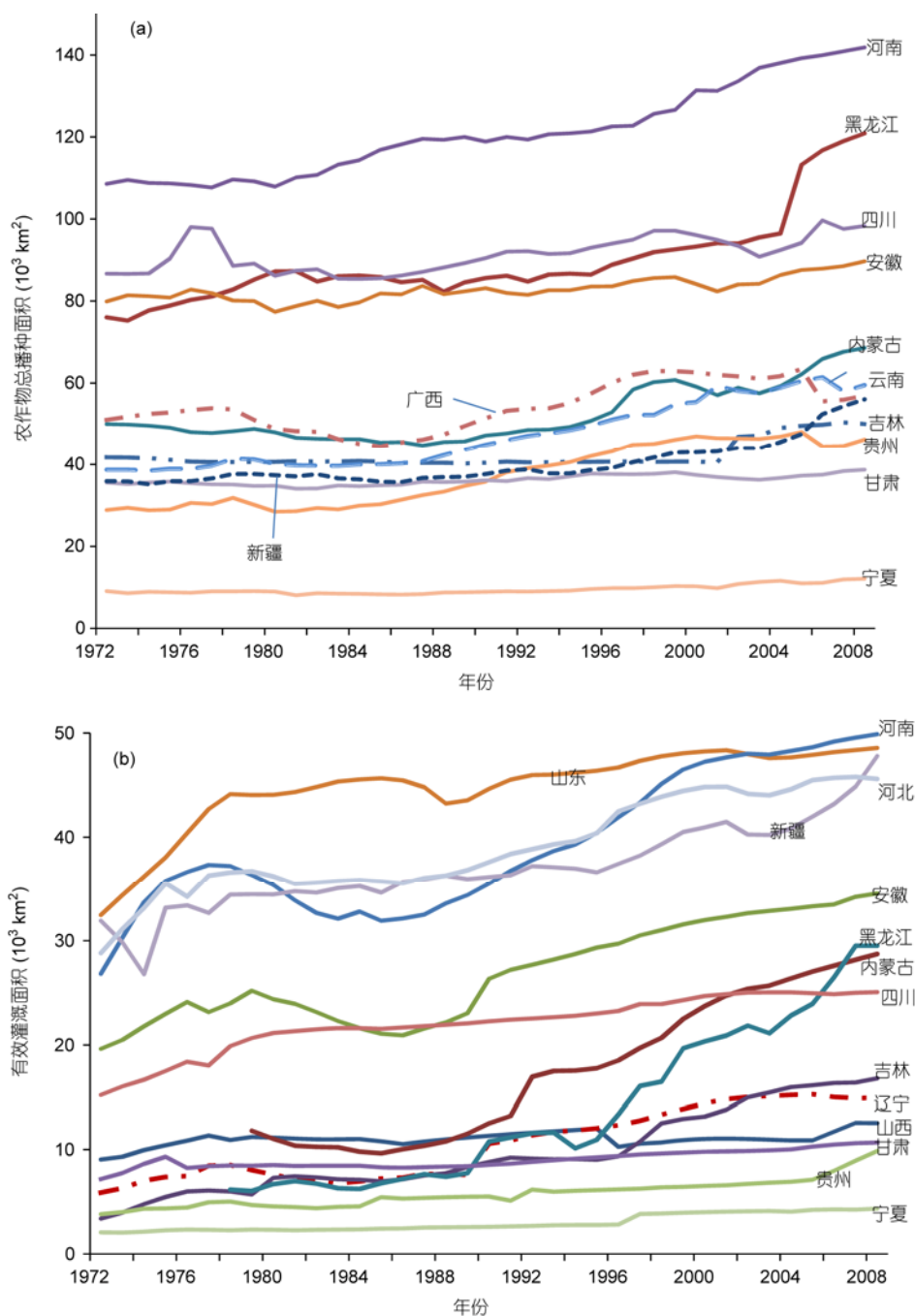


图9 全国部分省(自治区)作物播种总面积(a)和有效灌溉面积(b)历年变化

资料来源: 新中国 60 年统计资料汇编

湿地主要分布在黑龙江、内蒙古、青海和西藏等省区, 约占全国湿地面积的 55%. 滨海湿地则主要分布在山东(29.73%)、辽宁(17.74%)、江苏(15.90%)和福建(15.16%)等省份。

(ii) 根据遥感制图结果统计, 1978~2008 年的 30 年中, 中国湿地面积总体上减少了约 33%. 1990 年之

前丧失的湿地占全部丧失湿地的 65%, 以河流湿地和内陆沼泽为主; 1990~2000 年, 减少的湿地以内陆沼泽为主; 而 2000~2008 年湿地减少则以河流和湖泊湿地为主. 人工湿地在过去 30 年中增加了约 122%. 湿地减少的速度大幅降低, 由最初的  $5523 \text{ km}^2/\text{a}$  降为  $831 \text{ km}^2/\text{a}$ .

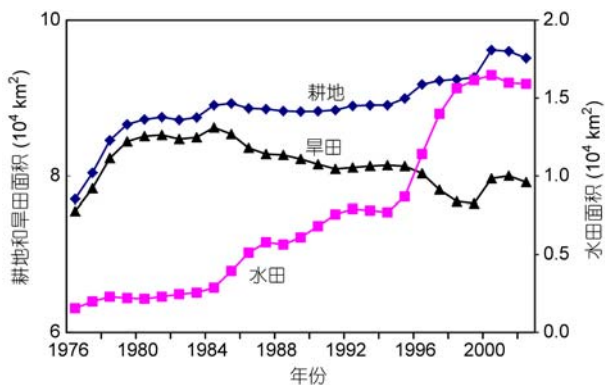


图10 黑龙江省耕地面积变化

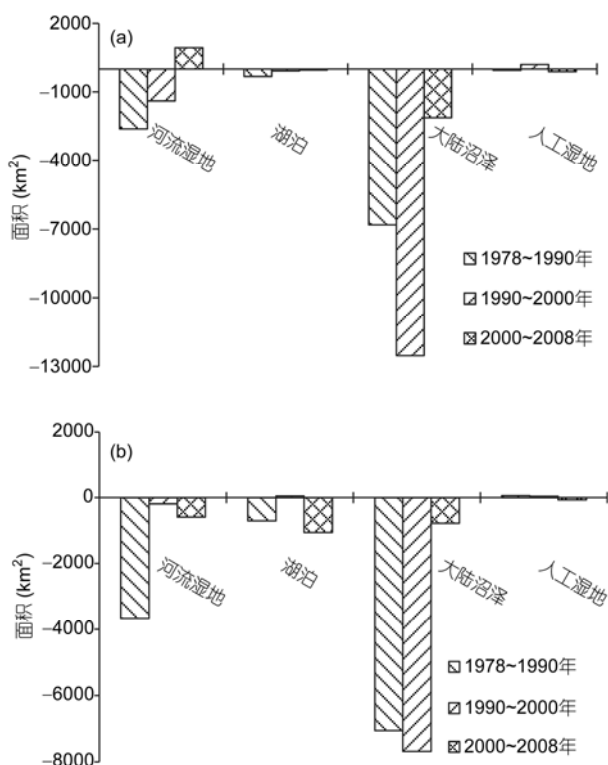


图11 黑龙江(a)和内蒙古(b)湿地变化

(iii) 在所有减少的自然湿地中, 湿地类型的变化由湿地向非湿地的转化比例逐渐降低. 减少的自然湿地在初期(1978~1990 年)有 98%转换为非湿地, 1990~2000 年约有 86%的自然湿地转化为非湿地, 而在 2000~2008 年, 约有 77%的自然湿地转换为非湿地.

(iv) 湿地的变化在全国也表现为三大不同的区域, 即西部三省、自治区(西藏、新疆和青海)、北部两省、自治区(黑龙江和内蒙古)和其他省市、自治区. 西部区域主要表现湿地的增加或变化不大, 东北区

域则湿地大量减少; 其他区域由于残存湿地较少, 湿地减少的量相对较小, 但也处于湿地萎缩的过程中, 同时该区域人工湿地增长迅速. 由于各个区域具体的影响湿地变化的因子不同, 因此, 湿地变化在区域内也存在差异.

(v) 影响湿地变化的主要背景因子是气候变化, 尤其是分析时期内表现的气候变暖. 但是这一因子在各个区域的响应结果却不相同. 在有冰川积雪的区域, 表现为增加了对湿地水源的供给; 而在其他地区, 则可能表现为蒸发的增强, 减少对湿地水的供给. 但是在社会经济活动剧烈的地区, 湿地的变化则明显地受到农业活动等影响, 这些因子的综合作用, 影响了湿地的变迁.

由于全国性湿地遥感制图工作量大、湿地变化复杂, 还存在一些不确定性有待于进一步深入研究:

(1) 由于面积广大, 目前还不能获取全国同一时期的遥感图像, 早期更是不可能. 因此本文所确定的时间, 是遥感图像获取的基准年度. 而实际图像获取往往跨度了 3~5 年甚至更多(如 1978 年). 这样的结果就是湿地的变化实际在有些区域反映了更长的时间.

(2) 受季节性气候影响, 湿地的空间分布具有动态特征. 基于特定时间的遥感图像获取的湿地空间分布信息, 虽然在整体趋势上能够反映湿地总体的变化趋势. 但是在变化分析中也必然会引入误差. 多时间序列的遥感影像数据能够在一定程度上克服该问题, 也是进一步湿地遥感制图中需要重点考虑的内容.

(3) 湿地变化虽然总体上受制于气候和农业活动两大因素, 而由于全国各地实际自然状况和社会经济的差异, 湿地变化的分析更为复杂. 基于流域的分析对于以自然驱动为主的区域更为适合. 另外湿地本身的变化及其与环境(气候、冰雪、冻土、植被和土壤水分等)的响应也需要在更深的层次上展开, 这将在后续研究中陆续展开讨论.

湿地保护是一个复杂的过程, 涉及到方方面面的关系. 但弄清我国湿地的现状及变化历史, 是进行湿地保护的前提. 目前建立湿地保护区是一种行之有效的办法, 而建立湿地公园则是在湿地保护和开发利用间一种折中的现实手段. 利用系统保护规划方法<sup>[31]</sup>, 对我国现有湿地保护现状进行研究和评价, 找出保护的空缺, 将会为我国湿地保护提供科学的支撑, 也将是后续亟需开展的工作.

**致谢** 湿地制图的野外调查和验证,得到了中国林业科学院周金星研究员等的大力合作和支持;武汉大学测绘学院李琼博士绘制了中国大陆地表质量变化图;数据分析得到中国科学院遥感应用研究所施建成研究员、北京师范大学戴永久教授等的大力支持;中国科学院东北地理与农业生态研究所刘兴土院士,国家林业局湿地中心马广仁主任,北京林业大学张明祥教授等对该工作提出了很好的建议;在此一并致以衷心的感谢。

## 参考文献

- Ghermandi A, van den Bergh J C J M, Brander L M, et al. Values of natural and human-made wetlands: A meta-analysis. *Water Resour Res*, 2010, 46: W12516, doi: 10.1029/2010WR009071
- 郑姚闽, 张海英, 牛振国, 等. 中国国家级湿地自然保护区保护成效初步评估. *科学通报*, 2012, 4: 207-230
- 牛振国, 宫鹏, 程晓, 等. 中国湿地初步遥感制图及相关地理特征分析. *中国科学 D 辑: 地球科学*, 2009, 39: 188-203
- 宫鹏, 牛振国, 程晓, 等. 中国 1990 和 2000 基准年湿地变化遥感. *中国科学: 地球科学*, 2010, 40: 768-775
- Zhang Z Z, Chao B F, Lu Y, et al. An effective filtering for GRACE time-variable gravity: Fan filter. *Geophys Res Lett*, 2009, 36: L17311, doi: 10.1029/2009GL039459
- 唐红玉, 翟盘茂, 王振宇. 1951~2002 年中国平均最高、最低气温及日较差变化. *气候与环境研究*, 2005, 10: 728-731
- 林振耀, 赵听奕. 青藏高原气温降水变化的空间特征. *中国科学 D 辑: 地球科学*, 1996, 26: 354-358
- 李林, 朱西德, 秦宁, 等. 青藏高原气温变化及其异常类型的研究. *高原气象*, 2003, 22: 524-530
- 丁一汇, 张莉. 青藏高原与中国其他地区气候突变时间的比较. *大气科学*, 2008, 32: 794-805
- 何瑞霞, 金会军, 吕兰芝, 等. 东北北部冻土退化与寒区生态环境变化. *冰川冻土*, 2009, 3: 525-531
- 赵林, 刘广岳, 焦克勤, 等. 1991-2008 年天山乌鲁木齐河源区多年冻土的变化. *冰川冻土*, 2010, 2: 223-230
- 南卓铜, 高泽深, 李述训, 等. 近 30 年来青藏高原西大滩多年冻土变化. *地理学报*, 2003, 58: 817-823
- 金会军, 李述训. 气候变化对中国多年冻土和寒区环境的影响. *地理学报*, 2000, 55, 2: 161-173
- 王圣杰, 张明军, 李忠勤. 近 50 年来中国天山冰川面积变化对气候的响应. *地理学报*, 2011, 66: 38-46
- 李治国, 姚檀栋, 叶庆华, 等. 1980~2007 年喜马拉雅东段洛扎地区冰川变化遥感监测. *地理研究*, 2011, 5: 939-952
- 姚檀栋. 青藏高原南部冰川变化及其对湖泊的影响. *科学通报*, 2010, 55: 1749
- 聂勇, 张懿铨, 刘林. 近 30 年珠穆朗玛峰自然保护区冰川变化的遥感监测. *地理学报*, 2010, 65: 13-28
- 曹泊, 潘保田, 高红山. 1972~2007 年祁连山东段冷龙岭现代冰川变化研究. *冰川冻土*, 2010, 32: 242-248
- 鲁安新, 姚檀栋, 王丽红, 等. 青藏高原典型冰川和湖泊变化遥感研究. *冰川冻土*, 2005, 27: 784-792
- 张继承, 姜琦刚, 李远华, 等. 基于 RS/GIS 的西藏地区湖泊变化动态监测及气候背景. *地球科学与环境学报*, 2008, 30: 87-94
- Wang X W, Cheng X, Li Z, et al. Lake water footprints identification from time-series ICESat/GLAS data. *IEEE Geosci Remote Sens*, 2012, 9, doi: 10.1109/LGRS.2011.2167495
- 陈红, 吴世新, 冯雪. 新疆耕地时空变化特征. *地理科学进展*, 2010, 29: 312-318
- 朱慧, 焦广辉, 王哲. 新疆 31 年来耕地格局时空演变研究. *干旱地区农业研究*, 2011, 29: 185-190
- 李红梅, 马玉寿, 白彦芳. 气候变化对青海高原植被演变的影响分析. *冰川冻土*, 2010, 32: 414-421
- 张国胜. 青海省气候变化及其对生态环境的影响研究. 硕士学位论文. 北京: 中国农业大学研究生院, 2004
- 郭晓娟, 朵海瑞. 青海湖流域耕地动态变化及驱动力分析. *青海农林科技*, 2007, 2: 44-46
- 张士功, 邱建军, 陈佑启, 等. 1949 年以来我国耕地资源的时空变化研究. *科技导报*, 2006, 24: 83-85
- 张国平, 刘纪远, 张增祥. 近 10 年来中国耕地资源的时空变化分析. *地理学报*, 2003, 58: 323-332
- 中国水利统计年鉴. 北京: 中国水利水电出版社, 1991
- 中国水利统计年鉴. 北京: 中国水利水电出版社, 2001
- Margules C R, Pressey R L. Systematic conservation planning. *Nature*, 2000, 405: 243-253